

CODEN: IBBRAH (12-78) 1-22 (1978)

INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID

RAPPORT 12-78

DE INVLOED VAN AARDOLIEPRODUKTEN OP DE ONTWIKKELING VAN ZOMERTARWE

door

L.C.N. DE LA LANDE CREMER, L. VAN DER VEEN, H.T. DOUWES

1978

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Haren (Gr.)

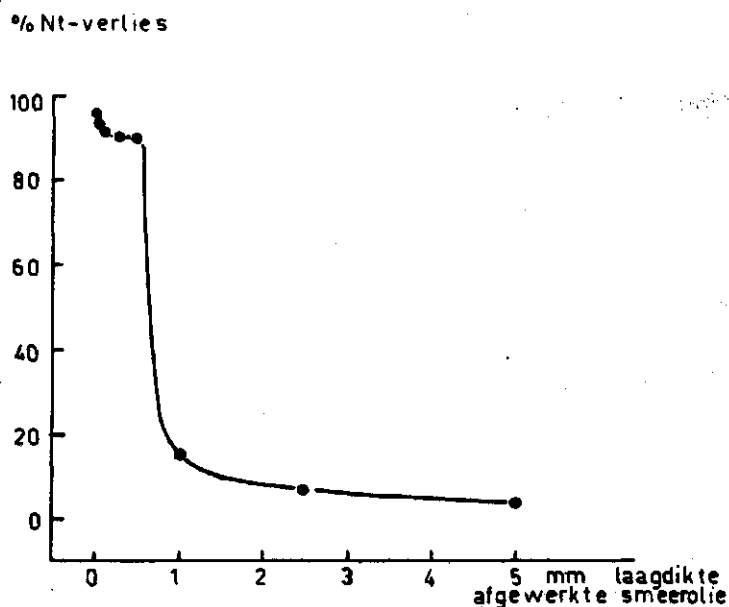
Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 12-78 (1978) 22 pp.

INHOUD

Inleiding	3
Literatuuronderzoek	5
Proefopzet	7
Waarnemingen en proefresultaten	9
Bespreking van de proefuitkomsten	11
a. Opkomst	11
b. Stand van het gewas	12
c. Opbrengst van het gewas	12
d. Strolengte	15
e. Duizendkorrelgewicht	16
f. De stikstofhuishouding van het gewas	16
Evaluatie van een verontreiniging met afgewerkte smeerolie gebruikt voor het afdekken van drijfmest	19
Samenvatting en conclusies	20
Literatuur	22

INLEIDING

Ter voorkoming van ammoniakverliezen door vervluchtiging bij de bewaring van gier kan deze met een dunne laag afgewerkte smeeroilie worden afgedekt. Zo vond Heinrich in een laboratoriumproef na bewaringsduur van zes maanden onder een olielaag ter dikte van 1 mm nog 75% van de oorspronkelijke hoeveelheid gierstikstof terug en bij een olielaag van 5 mm zelfs 96% (figuur 1).



Figuur 1. N-verlies uit gier in 6 maanden als functie van de dikte van de laag afgewerkte smeeroilie (Heinrich, laboratoriumproef).

Onlangs werd deze methode van behandeling nog eens beproefd, ditmaal niet om het stikstof-verlies te beperken, maar om de stank te beteugelen die bij de bewaring van drijfmest ontstaat. De vaste en vloeibare uitwerpselen van het vee worden momenteel hoofdzakelijk in gemengde vorm bewaard als dunne mest of drijfmest.

Bij deze anaërobe vorm van bewaring ontstaat een mestsoort met een penetrante geur, die vooral tijdens het mengen en verspreiden merkbaar wordt, maar vaak ook voordien reeds de aanwezigheid van een veehouderij werkend met een systeem van gemengde mestbewaring kan kenmerken.

Dunne mest heeft een aanmerkelijk ruwer oppervlak dan gier. Om enige effect te hebben zal dan vermoedelijk ook een dikkere olielaag nodig zijn om de stikstof-verliezen te voorkomen.

Met het verspreiden van de mest zal ook een deel van de gebruikte olie op het land komen. Afgezien van een mogelijke verontreiniging van het grond- en oppervlaktewater kan deze olie ook gevolgen hebben voor de groei van het gewas. In het hier beschreven onderzoek worden de gevolgen van een bodemverontreiniging met verschillende soorten en hoeveelheden aardolie-produkten op de groei en de ontwikkeling van zomertarwe bestudeerd.

LITERATUURONDERZOEK

Aardolieprodukten zijn mengsels van zeer vele koolwaterstoffen die grofweg kunnen worden onderverdeeld in alkanen met eenvoudige koolstofketens en aromaten met een cyclische basisstructuur.

Wanneer een olieprodukt op de grond terechtkomt, zal een deel hiervan verdampen, afhankelijk van zijn vluchtigheid. Het overige deel dringt in de grond door met een snelheid die afneemt naarmate de viscositeit van het produkt groter is en die verder afhankelijk is van de bodemeigenschappen zoals poriëngrootte en textuur.

Kloke en Leh (1963) vermelden de volgende dynamische viscositeiten in cP, gemeten met een Hopplerviscosimeter:

benzine	superbenzine	petroleum	dieselolie	stookolie	motorolie
0,46	0,55	1,33	3,13	3,82	140,2

De hoeveelheid aardolieprodukt die een bodem kan binden is afhankelijk van de samenstelling van het produkt en de grondsoort. Grummer (1964) noemt voor ruwe olie op zandgrond een waarde van 1,1 gewichtsprocenten onder natte omstandigheden tot 3,6 gewichtsprocenten bij droge. Udo (1975) onderzocht een ijzerhoudende tropische grond die tot 10 gewichtsprocenten met olie was verontreinigd.

De olie die niet door de bodem wordt vastgehouden kan uiteindelijk het grondwater bereiken. Ook zijn geringe hoeveelheden koolwaterstoffen in water oplosbaar zodat een deel van de olie dus ook in opgeloste vorm in de diepere bodemlagen en het grondwater terecht kan komen. De oplosbaarheid van aardolieprodukten in water is groter naarmate hun viscositeit lager is.

In de grond worden de olieprodukten afgebroken door bepaalde reeds in de bodem voorkomende micro-organismen, die zich dan sterk gaan uitbreiden. Somers (1971) geeft hierover een uiteenzetting.

De alkanen worden sneller omgezet dan de aromaten, terwijl in het algemeen de omzetting toeneemt naarmate de viscositeit geringer is (Süss et al. 1969). De omzetting kan zowel aëroob als anaëroob verlopen, de laatste geschiedt evenwel veel langzamer. Bij de omzetting neemt het aantal organismen sterk toe waardoor onder andere bodemstikstof wordt vastgelegd. Deze komt weer vrij nadat de organismen weer afsterven wanneer de afbraak is voltooid.

De invloed van aardolieprodukten op de plantengroei is indirect, namelijk via een slechter wordende lucht- en waterhuishouding. Ruwe aardolie blijkt niet toxisch te zijn. Bepaalde verwerkings- en omzettingsprodukten kunnen evenwel toxische bestanddelen bevatten (Grummer 1964).

Door de afbraak in de grond neemt de nadelige werking van aardolieprodukten op de plantengroei in de tijd weer af. Een goede beluchting door loshouden van de grond bevordert de afbraak. Organische meststoffen werken gunstig op de omzetting, vooral stalmest. De werking van stro en turf-molm voldoet in dit opzicht iets minder goed (Grummer 1964). Volgens Kloke (1963) heeft het toevoegen van koolstofrijke produkten als stro en turf-molm geen of zelfs een negatieve invloed.

PROEFOPZET

De proef met Juffy zomertarwe, uitgevoerd in Mitscherlichpotten met zandgrond, omvatte de volgende soorten en hoeveelheden aardolieprodukten:

onbehandeld	:	0	0	0	0	0	ml
afgewerkte smeerolie:		25	50	75	100	125	"
dieselolie	:	25	50	75	100	125	"
petroleum (Kerosine):		25	50	75	100	125	"
huisbrandolie	:	25	50	75	100	125	"
superbenzine	:	25	50	75	100	125	"

Alle objecten kwamen in tweevoud voor.

De grond (pH-KCl 4,8; Organische stof 3,2%; P-Al 3,8; Pw 12; K-gehalte 0,013%; N-totaal 0,11% en een vochtgehalte van 10%) werd op 18 en 19 februari eerst met de basisbemesting vermengd. Deze bedroeg voor 7,5 kg grond, per pot:

N	als NH_4NO_3	1,2	g
Mg	als $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	3,0	"
Cu	als $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,1	"
P_2O_5	als K_2HPO_4	1,14	"
K_2O	als K_2HPO_4	1,50	"

Vervolgens werden de potten laagsgewijs gevuld volgens onderstaand schema:

ondergrond	:	0,970	kg
oliehoudende grond	:	4,150	"
bovengrond	:	<u>2,380</u>	"
totaal gewicht	:	7,500	"

Rekeninghoudend met de volgende aangenomen soortelijke gewichten-superbenzine 0,7; petroleum 0,85; diesel- smeer- en huisbrandolie 0,9 werd aan 7,500 kg grond de volgende hoeveelheden olieprodukten toegevoegd in gewichtsprocenten (gew.%):

onbehandeld	:	0	0	0	0	0	gew. %
superbenzine	:	0,23	0,46	0,69	0,92	1,15	"
petroleum	:	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	"
overige oliesoorten	:	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	"

Op 22 maart 1971, ruim een maand na het vullen, bemesten en aanbrengen van de olieprodukten werden 36 korrels tarwe per pot gezaaid op 2,5 cm diepte in de niet oliehoudende bovenlaag.

WAARNEMINGEN EN PROEFRESULTATEN

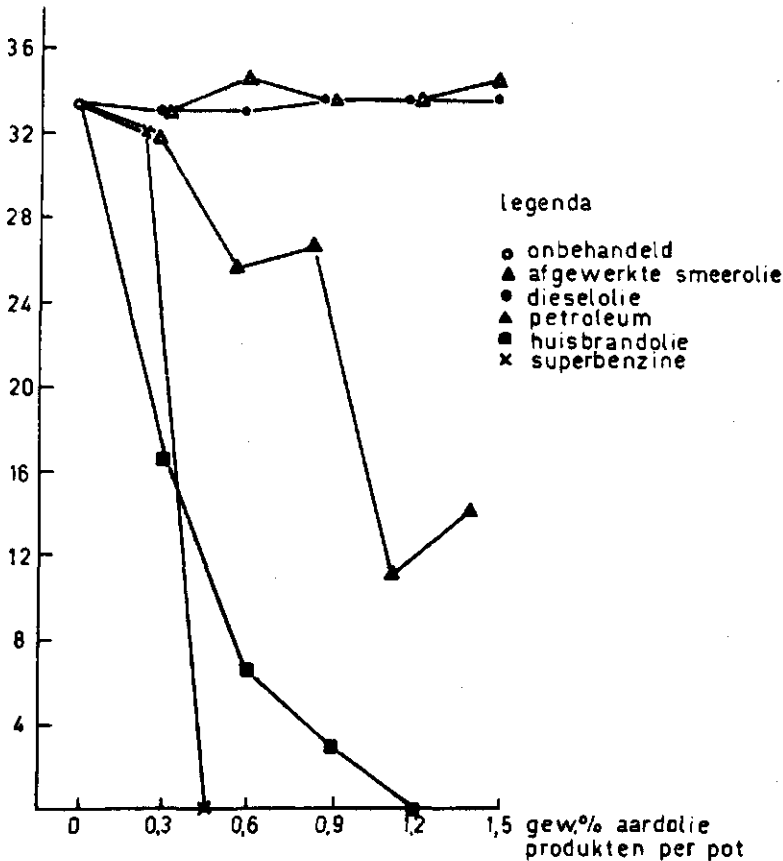
De resultaten en waarnemingen van deze proef zijn samengevat in tabel 1.

De zomertarwe kwam op 8 april boven de grond. Een telling van het aantal opgekomen planten op 15 april wees uit, dat bij verontreiniging met 0,46 gew.% en meer superbenezine geen planten waren opgekomen. Naderhand moeten er bij 0,46 gew.% van dit produkt toch nog kiemen boven de grond zijn verschenen, getuige de opbrengst die uiteindelijk nog op dit object werd verkregen. Ook bij 0,60 gew.% en meer huisbrandolie en 1,12 gew.% en meer petroleum was de opkomst op 15 april slecht.

Op 14 juni bleek het gewas iets te zijn beschadigd door een bespuiting tegen meeldauw met een te hoge concentratie colixin.

BESPREKING VAN DE PROEFUITKOMSTEN

a. Opkomst (tabel I. figuur 2)

aantal opgekomen
planten dd. 15-4-71

Figuur 2. Invloed van aardolieproducten op het aantal opgekomen planten zomertarwe.

Er is geen invloed van de mate van verontreiniging met dieselolie en met afgewerkte smeeroilie op de opkomst van het gewas op 15 april tot een concentratie in de bodem van 1,5 gew.%. De overige producten werken duidelijk negatief vanaf de laagste concentraties. De invloed is geringer naarmate de viscositeit van het produkt groter is. Hierbij wordt eraan herinnerd, dat de zaden zich niet in de met aardolieproducten verontreinigde grond bevonden, maar daar boven. De sterk visceuse producten kunnen daarvoor in het beginstadium nauwelijks, enige invloed op de ontkieming hebben uitgeoefend.

De dunnere oliesoorten zullen zich daarentegen sneller door de bodem hebben verspreid. Aangezien na 15 april in de objecten met superbenezine en met huisbrandolie nog planten zijn opgekomen zou de grafiek voor beide produkten een ander verloop hebben gehad indien de telling op een later tijdstip zou zijn herhaald.

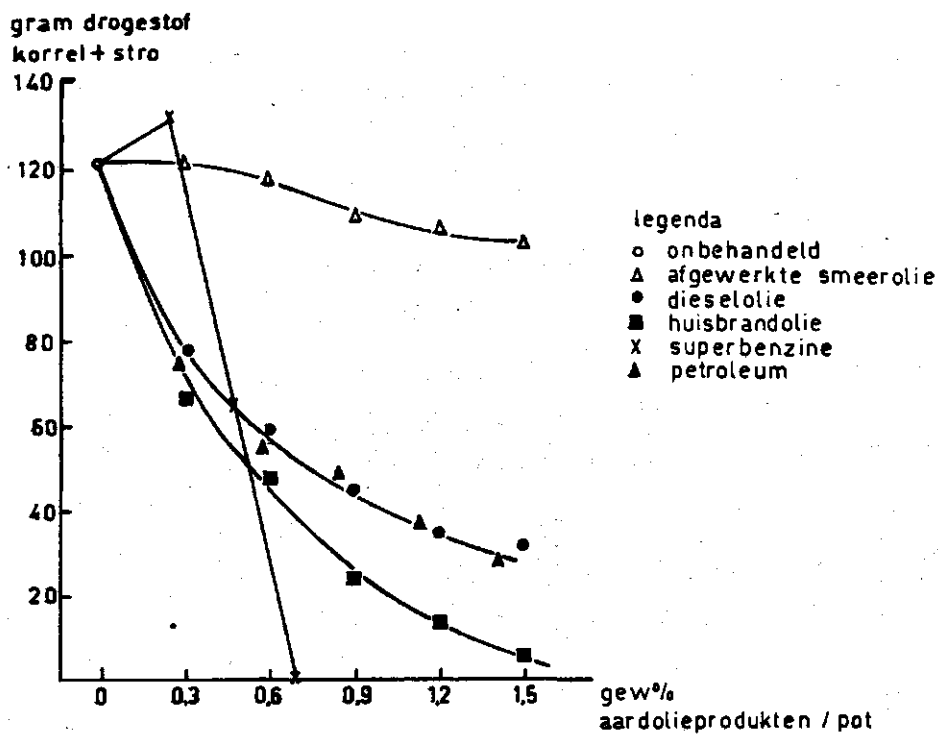
Aardolieprodukten of bestanddelen hieruit kunnen door diffusie en/of vervluchtiging tot aan de zaden zijn doorgedrongen en de kiemen en jonge wortels hebben afgeremd, waardoor de opkomst werd vertraagd. Vanaf een bepaalde concentratie kan de invloed zelfs dodelijk zijn (Ude 1975 en Ellis et al., 1961). Udo toonde aan, dat de qua viscositeit met afgewerkte smeerolie vergelijkbare ruwe olie, boven de 1 tot 2 gew.% verontreiniging in de bodem een sterk negatieve werking begint uit te oefenen op de ontkieming van mais. Kloke et al. (1963) constateerden bij benzine een veel geringere ontkieming dan bij smeerolie met een verontreiniging van 0,84 gew.% benzine kwam slechts 50% van het zomerkoolzaad op tegen 97% bij eenzelfde hoeveelheid smeerolie. Bij 2,5 gew.% van beide produkten waren deze cijfers respectievelijk 19 en 78%.

b. Stand van het gewas (tabel I)

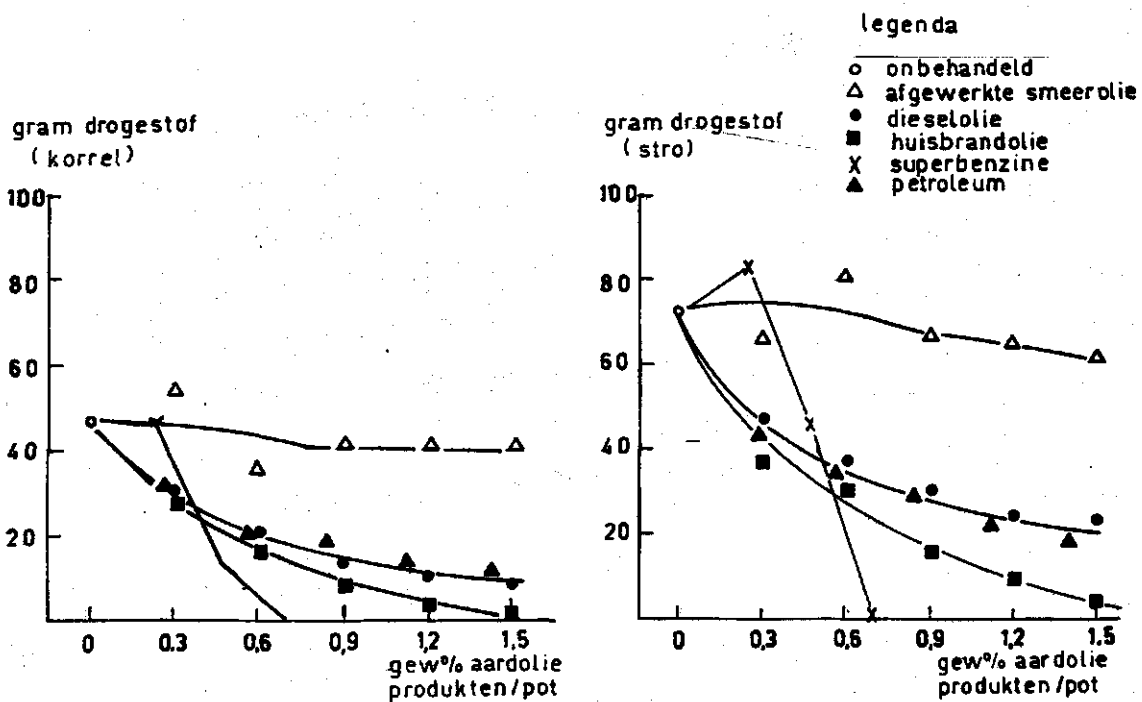
De stand van de zomertarwe vermindert duidelijk met een toenemende verontreiniging met aardolieprodukten. Deze afname verloopt sneller naarmate het produkt vluchtiger is. Opvallend is de betere stand ten opzichte van onbehandeld op de objecten met 0,30 gew.% afgewerkte smeerolie en 0,23 gew.% superbenezine. Blijkbaar gaat er bij lage concentraties van deze produkten in de grond eerst nog een gunstige invloed uit op de gewasontwikkeling. Demortier et al. (1952) signaleerden een soortgelijk effect met afgewerkte smeerolie tot 0,1 gew.% van de bodem en peen en radijs als proefgewassen.

c. Opbrengst van het gewas (tabel I, figuur 3 t/m 5)

Naarmate het verontreinigend produkt vluchtiger is, wordt de negatieve invloed op de opbrengst groter. Het effect van de dieselolie en de petroleum is nagenoeg gelijk (figuren 3 en 4).



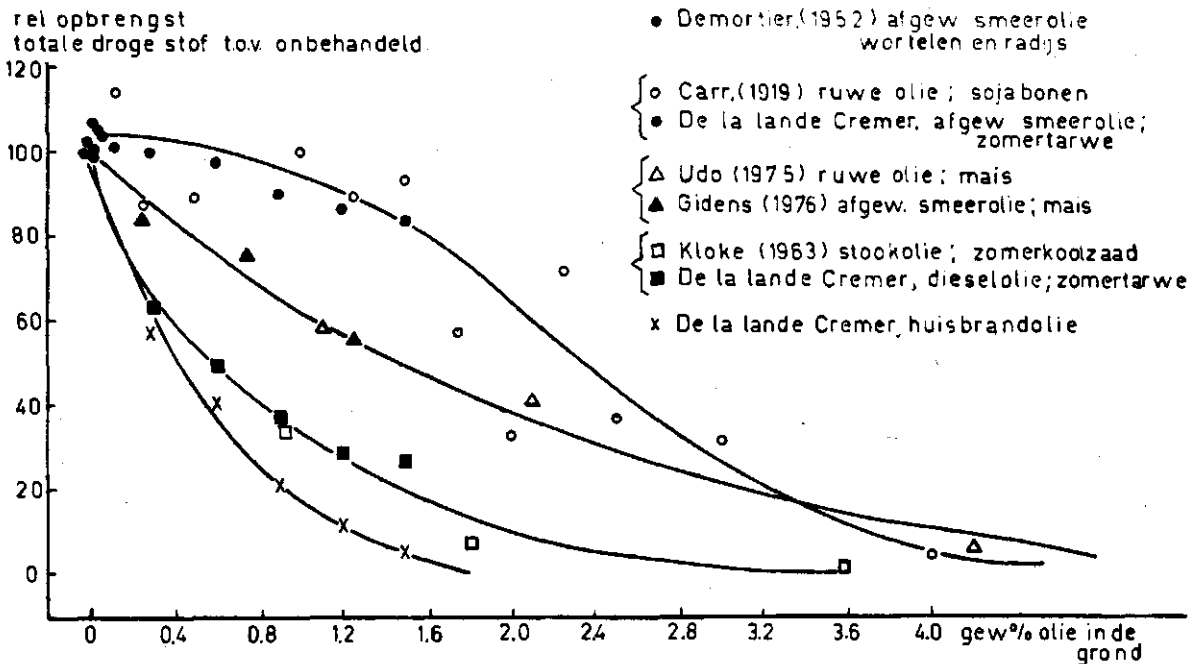
Figuur 3. Invloed van aardolieprodukten op de drogestofopbrengsten van zomertarwe.



Figuur 4. Invloed van aardolieprodukten op de drogestofopbrengsten van korrel en stro van zomertarwe.

De superbenezine veroorzaakt bij de laagste concentratie in de bodem eerst nog een opbrengstverhoging bij het stro. Maar de opbrengsten nemen vervolgens snel af tot nihil bij 0,69 gew.% superbenezine in de bodem. De smeeroilie werkt pas duidelijk negatief vanaf een verontreiniging met 0,50 gew.%. De betere stand bij 0,23 gew.% resulteerde hier in tegenstelling tot de superbenezine, niet in een hogere drogestofopbrengst ten opzichte van onbehandeld.

In figuur 5 zijn een aantal literatuurgegevens bijeengebracht met betrekking tot de invloed van aardolieprodukten op de gewasopbrengsten ten opzichte van onbehandeld.



Figuur 5. Invloed van aardolieprodukten op de drogestofopbrengsten van enkele gewassen.

Doordat van de gebruikte oliesoorten meestal geen soortlijke gewichten en viscositeitsgegevens vermeld werden heeft de omrekening van de hoeveelheden in gewichtspercentages van de grond eveneens plaatsgevonden op basis van een s.g. waarde van 0,9.

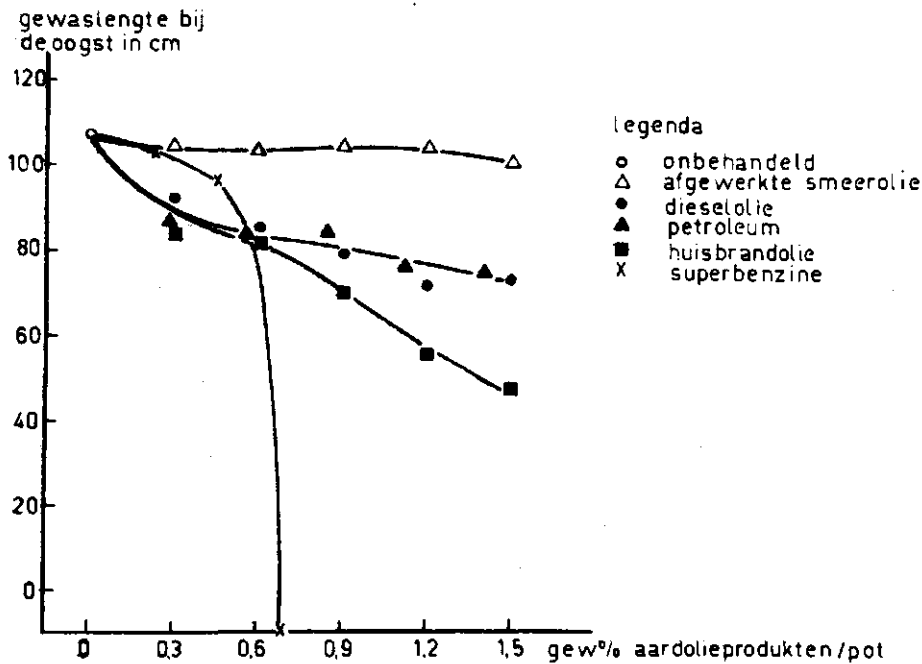
De minder visceuze oliën veroorzaken een grotere opbrengstderving. Smeerolie en de visceuzere ruwe oliën zijn minder schadelijk met een geringe verontreiniging (minder dan 0,1 gew.%) van de bodem is er zelfs een tendens tot verhoging van de opbrengst, hetgeen door Demortier et al. (1952) eveneens gesignaleerd werd.

Kloke et al. (1963) constateerden daarentegen in een potproef met zomerkoolzaad (lihoraps) op leemhoudende zand juist een sterkere opbrengstderving naarmate de viscositeit van het verontreinigend product hoger was. Zo veroorzaakt een verontreiniging met 0,84 gew.% benzine of superbenzine in hun proef slechts een opbrengstdaling van 30% terwijl met 0,84 gew.% petroleum, dieselolie, stookolie of smeerolie vrijwel geen opbrengst meer werd verkregen.

De hoeveelheid en de hoedanigheid van het olieproduct zijn dus niet de enige factoren die in het geding zijn. Als mogelijk andere factoren wordt gedacht aan gewassoort, grondsoort, bodemfysische omstandigheden, bemesting en bemestingstoestand van de grond. Leguminosen blijken minder gevoelig te zijn dan niet leguminosen (Giddens, 1976). Dit wordt toegeschreven aan een stikstoftekort dat ontstaat bij de microbiële afbraak van de olie. De aanwezige bodemstikstof wordt dan vastgelegd in de microorganismen die de olie afbreken en het ontstane tekort wordt bij de niet leguminosen onvoldoende of niet gecompenseerd. Schwendiger (1968) toonde aan dat een bemesting met kunstmeststikstof van een met olie verontreinigde bodem diens microbiële activiteit stimuleerde en daarmee de afbraak van de olie in de grond bevorderde.

d. Strolengte (tabel I, figuur 6)

De afgewerkte smeerolie heeft nauwelijks enige invloed op de gewaslengte. Het gewas wordt korter naarmate de viscositeit van de gebruikte producten afneemt. Dieselolie en petroleum vertonen een nagenoeg gelijk effect. Superbenzine tot een concentratie van 0,60 gew.% heeft een relatief geringe uitwerking op de gewaslengte maar werkt bij hogere concentraties sterk negatief.



Figuur 6. Invloed van aardolieprodukten op de gewas lengte bij de oogst van zomertarwe.

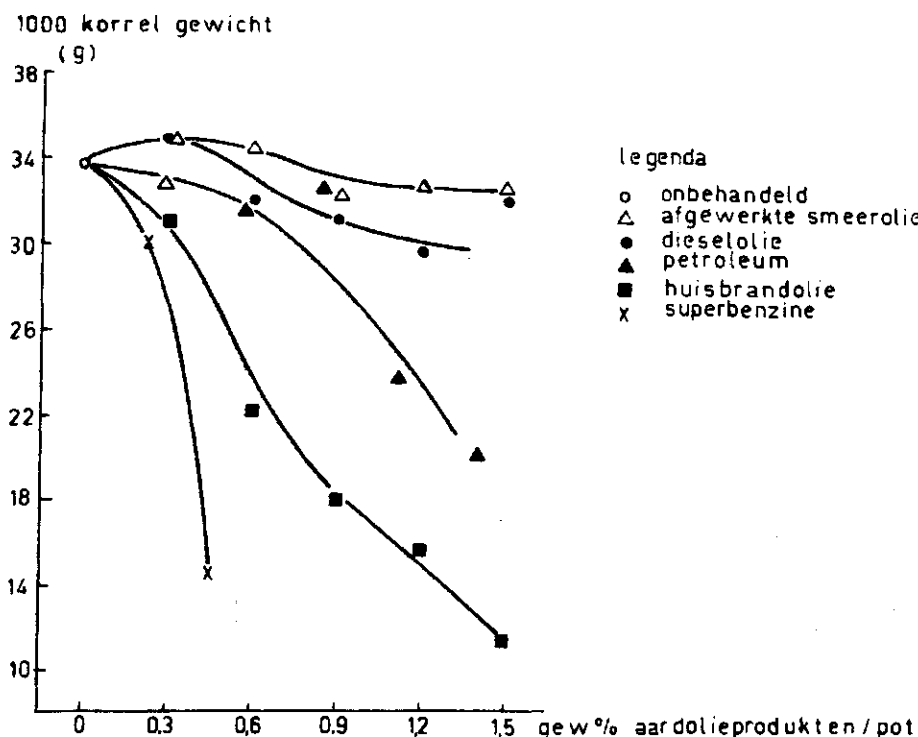
e. Duizendkorrelgewicht (tabel I, figuur 7)

Evenals de strolengte en de opbrengst daalt het duizendkorrelgewicht bij een toenemende verontreiniging met aardolieprodukten. Met 0,3 gew.% dieselolie en met 0,3 en 0,6 gew.% afgewerkte smeerolie zijn de resultaten evenwel eerst nog iets beter dan bij onbehandeld.

f. De stikstofhuishouding van het gewas (tabel I, figuur 8)

De in figuur 8 vermelde getallen bij ieder symbool geven in rangorde de gebruikte hoeveelheden aardolieprodukten weer, 0,23 t/m 1,15 gew.% superbenezine, 0,28 t/m 1,48 gew.% petroleum en 0,30 t/m 1,50 gew.% oliesoorten.

De gebruikte produkten oefenden een duidelijke werking uit op het stikstofgehalte van en de stikstofonttrekking door het gewas. Voor de objecten onbehandeld, 0,23 gew.% superbenezine, 0,30 t/m 1,50 gew.% afgewerkte smeerolie en 0,90 t/m 1,50 gew.% dieselolie is er een lineair verband tussen stikstofopname en de opbrengst aan korrel en stro van de zomertarwe.



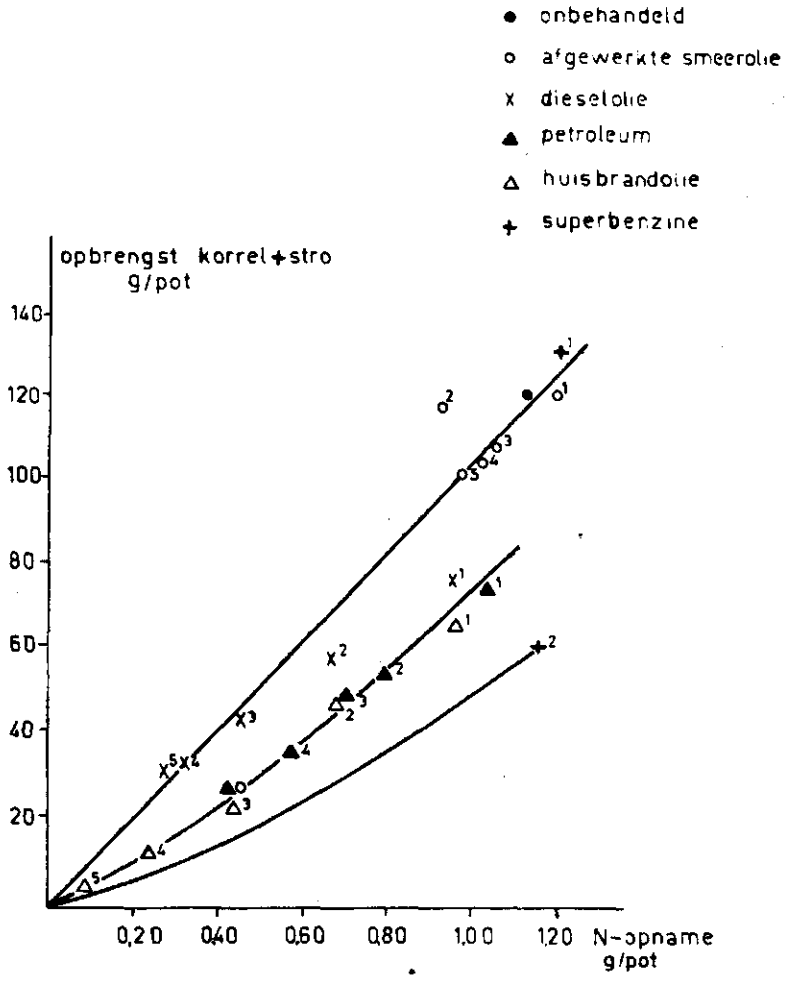
Figuur 7. Invloed van aardolieprodukten op het duizendkorrelgewicht van zomertarwe.

Ook voor de objecten 0,28 t/m 1,40 gew.% petroleum en 0,30 t/m 1,50 gew.% huisbrandolie bestaat een duidelijk hoewel kromlijng verband. Bij vergelijkbare stikstofopnamen is de drogestofproduktie echter geringer. Bij 0,46 gew.% superbenezine is deze produktie nog weer lager.

Merkwaardige afwijkingen vormen de objecten met 0,30 en 0,60 gew.% dieselolie ten opzichte van sterkere verontreinigingen met dit produkt. De afwijking met 0,60 gew.% smeerolie lijkt van toevallige aard te zijn.

In de korrel neemt het stikstofgehalte eerst toe, met uitzondering voor de smeerolieobjecten en daarna weer af bij een grotere verontreiniging van de bodem. Het stikstofgehalte van het stro stijgt lineair met de gebruikte hoeveelheden petroleum, huisbrandolie of superbenezine.

Het is niet duidelijk waaraan de geschetste reactieverschillen moeten worden toegeschreven. Mogelijk moeten zijn aan een vertraagde afrijking van het gewas op de betreffende objecten worden geweten, maar er kunnen ook andere oorzaken in het spel zijn. Udo et al.(1975) vond praktisch geen verandering van het stikstofgehalte van mais bij een verontreiniging met ruwe olie tot 8,5 gew.% toe.



Figuur 8. Verband tussen opgenomen hoeveelheid stikstof en de opbrengst aan korrel + stro.

EVALUATIE VAN EEN VERONTREINIGING MET AFGEWERKTE SMEEROLIE GEBRUIKT VOOR HET AFDEKKEN VAN DRIJFMEST

Het oorspronkelijk doel van dit onderzoek was het nagaan van de invloed van voor de afdekking van mestputten te gebruiken afgewerkte smeerolie op de gewasgroei indien deze bij het verspreiden van de mest geheel of gedeeltelijk op het land zou terecht komen.

Indien van de veronderstelling wordt uitgegaan dat een mestput van 100 m^2 met een laag van 5 mm afgewerkte smeerolie wordt afgedekt met een s.g. van 0,9, zal deze put 500 l olie bevatten. Indien nu de gehele olievoorraad op 1 ha land zou worden verspreid zal de bodem bij een bouwvoorgewicht van 2.800.000 kg slechts met 0,016 gew.% olie zijn verontreinigd. Op grasland met een zodelaag van 5 cm zal deze concentratie 0,064 gew.% gaan bedragen. Volgens de eerder besproken gegevens kunnen beide concentraties als onschadelijk voor de gewassen worden beschouwd. In de praktijk zullen de concentraties nog geringer zijn, omdat niet de gehele inhoud van de put ($150 \text{ à } 200 \text{ m}^3$ mest) over 1 ha zal worden verdeeld bij giften van 20 tot 100 m^3 . Voorts zou men kunnen proberen de olielaag zoveel mogelijk intact te laten door de mest voorzichtig onder deze laag af te zuigen.

In hoeverre deze hoeveelheden olie van invloed kunnen zijn op de kwaliteit van de gewassen, het ruwvoer of het grondwater zal door een nader onderzoek moeten worden vastgesteld.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

De opkomst, groei en opbrengst van Juffy zomertarwe verbouwd in een potproef met zandgrond werd ongunstig beïnvloed door een verontreiniging van de grond met verschillende soorten en hoeveelheden aardolieprodukten.

Superbenzine, petroleum (kerosine), dieselolie, huisbrandolie en afgewerkte smeerolie, die in deze volgorde een toenemende viscositeit bezitten, hebben in dezelfde volgorde een afnemende schadelijke invloed op de opkomst, de stand van het gewas, de opbrengst en het duizendkorrelgewicht.

De huisbrandolie vertraagde de groei terwijl een deel van het zaad geheel niet opkwam.

Afgewerkte smeerolie en dieselolie hadden tot een verontreiniging met 1,5 gew.% van de bodem nauwelijks enige invloed op de ontkieming, superbenzine daarentegen in forse mate vanaf 0,3 gew.%.

De afgewerkte smeerolie veroorzaakte tot een bijmenging van 0,6 gew.% nagenoeg geen opbrengstderving, stookolie daarentegen bij 0,3 gew.% reeds één van 40%.

Het minst visceuse produkt, de superbenzine, werkte beneden een concentratie van 0,3 gew.% in de bodem nog enigermate stimulerend op de opbrengst.

In deze proef werd de gewasgroei volledig onderdrukt vanaf een verontreiniging met 0,69 gew.% superbenzine en ca. 1,8 gew.% huisbrandolie. Uit een vergelijking met literatuuropgaven volgt dat afhankelijk van gewassoort en oliesoort (ruwe olie, smeerolie, dieselolie en huisbrandolie) de voor gewasgroei letale hoeveelheid tussen 1,8 en 5 gew.% kan liggen.

Evenals uit de literatuur vrij algemeen blijkt, werkte in deze proef de invloed van een olieprodukt op de ontwikkeling en de opbrengst van een gewas nadeliger naarmate de viscositeit van het produkt lager is. Alleen Kloke et al. (1963) vermeldt hierop afwijkende resultaten, hetgeen erop zou kunnen wijzen dat ook een aantal andere factoren (gewas, grondsoort, bemestingstoestand, fysische bodemgesteldheid mogelijk van belang zijn voor het uiteindelijk effect.

Bij een gelijke stikstofopname door het gewas was de drogestofproductie onder invloed van de verschillende olieprodukten afwijkend.

Deze produktie was bij de objecten met dieselolie en met afgewerkte smeerolie gelijk aan die bij onbehandeld, maar lager bij de overige produkten.

De verontreiniging met afgewerkte smeerolie gebruikt voor het afdekken van vloeibare mest zal geen consequenties hebben voor de gewasgroei.

LITERATUUR

- Carr, R.H., 1919. Vegetative growth in soils containing crude petroleum. Soil Sci. 8: 67-68.
- Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, 1973. Some references to oil contamination of soils (1971-1942). Bibliography no. 1588: 8 pp; 31 referenties.
- Demortier, G., Riga, A. et Darcheville, M., 1952. Le fumier huilé déprime-t-il les rendements. Bull. Inst. Agron. St. Rech. Gembloux 20, no 1-2: 43-47.
- Ellis, R. and Adams, R.S., 1961. Contamination of soils by petroleum hydrocarbons. Adv. Agron., vol. 13: 197-216.
- Giddens, J., 1976. Spent motor oil effects on soil and crops. J. Environ. Qual, vol. 5, no. 2: 179-181.
- Grummer, H.J., 1964. Untersuchungen an einen mit Rohöl überfluteten sandboden im Emsland. Landwirtsch. Forsch. 17: 229-243.
- Kloke, A. und Leh, H.O., 1963. Der Einfluss von Mineralölen im Boden auf die Pflanzenentwicklung. Inst. für nicht. parasitaire Pflanzenkrankheiten, Berlin. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes no. 15: p. 85 ev.
- Schwendiger, R.B., 1968. Reclamation of soil contaminated with oil. J. Inst. Pet. 54: 182-197.
- Somers, J.A., 1971. Bodemverontreiniging door olie. Inst. Gez. Technol. TNO, Delft. Werkrapport A 57: 19pp.
- Süss, A., Netsch-Lehner, A. und Nowak, W., 1969. Veränderung von Dieselölkomponenten in zwei Böden. Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd. 122, heft 1.
- Udo, E.J. and Fayemi, A.A.A., 1975. The effect of oil pollution of soil on germination, growth and nutrient uptake of corn. J. Environ. Qual. vol. 4, no. 4: 537-540.